



Université d'Angers, Faculté des Sciences
Rapport de stage de Master 1 Biodiversité Ecologie-Evolution
Parcours : Mer, Anthropisation, Diagnostic
Année universitaire 2022-2023

Étude des habitats marins du site des Briquets à Hendaye et leurs effets sur la diversité des communautés ichthyologiques : aide à l'identification de zone de protection prioritaire.



Présenté par Lucille ZARAGOSI

Sous la co-direction d'Éric Saint-Martin (CODEP 64 - FFESSM) et de Pierre Sasal (CRIOBE-CNRS)

Enseignante tutrice : Pia Nardelli

Soutenance le 22 juin 2023

Université d'Angers

Faculté des Sciences
2 boulevard Lavoisier
49045 Angers Cedex

Master 1

Biodiversité Ecologie-Evolution
Parcours Mer, Anthropisation,
Diagnostic

Type de stage : 4

Auteur

Lucille ZARAGOSI

Année universitaire 2022-2023

Organisme d'accueil

Comité départemental Pyrénées
Atlantique 64 de la FFESSM
Laboratoire CRIOBE, CNRS

Étude des habitats marins du site des Briquets à Hendaye et leurs effets sur la diversité des communautés ichthyologiques : aide à l'identification de zone de protection prioritaire.

Résumé

Les zones côtières, connues pour leur grande diversité biologique, sont parmi les zones les plus productives en services écosystémiques. Pour réduire les impacts anthropiques sur ces zones, 10 % des côtes européennes doivent être strictement protégées d'ici 2030. Ce stage avait pour but d'aider à la constitution d'un bilan écologique sur le site des Briquets, au large d'Hendaye au Pays-basque, pour aider à la prise de décision d'une éventuelle mise en protection de la zone. Différents travaux ont été effectués, dont la cartographie des bancs de sable de la zone en plongée sous-marine ainsi que l'étude de la répartition ichthyologiques suivant les caractéristiques physiques du milieu. Le site des Briquets, divisé en 137 stations, est caractérisé par la morphologie particulière du plateau continental basque qui présente des reliefs variés. Pour l'étude de la biodiversité, l'indice de Margalef, l'abondance moyenne et l'indice de distinction taxonomique ont été utilisés. Les résultats montrent une richesse spécifique et une abondance limitée dans les habitats de type sableux et à l'inverse une corrélation positive avec la diversification des habitats, particulièrement rocheux. Le récif des Briquets, situé au milieu du site d'étude, semble être une zone élevée de biodiversité, comme les zones à fort pourcentage de pente de fond. Différentes études ont montré un effet positif sur la biodiversité corrélé avec la complexité des habitats, ici équivalente à la structure physique de l'environnement. L'indice de distinction taxonomique a permis d'identifier 13 stations en état écologique dégradé. La mise en place d'une zone de protection forte pourrait permettre la réduction des impacts anthropiques, le rétablissement d'un bon état écologique et un maintien des peuplements marins et des fonctions de l'écosystème des Briquets.

Mots clés : Zone de protection, cartographie sous-marine, biodiversité, caractéristiques des habitats, aide à la décision.

Abstract

Coastal zones, known for their great biological diversity, are among the most productive areas in terms of ecosystem services. To reduce the impact of human activities on these areas, 10% of Europe's coasts must be strictly protected by 2030. The aim of this internship was to help draw up an ecological assessment of the Briquets site, off the coast of Hendaye in the Basque Country, to assist in the decision to protect the area. Various tasks were carried out, including underwater mapping of the area's sandbanks and a study of the distribution of ichthyology according to the physical characteristics of the environment. The Briquets site, divided into 137 stations, is characterized by the particular morphology of the Basque continental shelf, with its varied relief. The Margalef index, mean abundance and taxonomic distinction index were used to study biodiversity. The results show a limited specific richness and abundance in sandy habitats and, conversely, a positive correlation with the diversification of habitats, particularly rocky ones. The Briquets reef, located in the middle of the study site, appears to be a high biodiversity zone, as are areas with a high percentage of bottom slope. Various studies have shown a positive effect on biodiversity correlated with habitat complexity, here equivalent to the physical structure of the environment. The taxonomic distinction index has identified 13 stations in a degraded ecological state. The establishment of a strong protection zone could help reduce anthropogenic impacts, restore good ecological status and maintain marine populations and ecosystem functions of the area.

Key words: Protection zone, underwater mapping, biodiversity, habitat characteristics, decision support.



ENGAGEMENT DE NON PLAGIAT

Je, soussignée Lucille Zaragosi, déclare être pleinement consciente que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publié sur toutes formes de support, y compris l'internet, constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée. En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour écrire ce rapport ou mémoire.

Signature :

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Lucille Zaragosi', is written over a faint horizontal line.

Remerciements

Ce stage fut une expérience magique, et je tiens à remercier toutes les personnes qui y ont participé de près ou de loin. Ces deux mois furent riches en apprentissages, professionnels comme humains.

Je tiens à remercier particulièrement, Éric Saint-Martin, Pierre Sasal et Baptiste Hardoy. Je souhaite remercier Éric Saint-Martin pour le dévouement porté à ce projet. Merci pour l'accompagnement permanent et le soutien au cours du stage. Merci de m'avoir permis de mêler ma passion, la plongée sous-marine, à mes études. Merci pour ces moments de partage et d'échange. Je souhaite remercier Pierre Sasal pour ses recommandations et son aide scientifique. Pour finir, je souhaiterais remercier Baptiste Hardoy pour ses conseils et son aide quotidienne.

Merci aux plongeurs bénévoles Tom, Céline et Constance sans qui les plongées du mois de mai n'auraient pas pu se faire. Merci de nous avoir permis de finaliser au maximum notre travail.

Je remercie le club de plongée URPEAN pour le prêt du matériel et des locaux.

Enfin, merci au CODEP 64 de porter ce projet et de s'engager pour la protection du milieu marin.

Sommaire

Préambule

1- Introduction.....	1
2- Matériel et méthodes	2
a. Zone d'étude	2
a.1. Contexte physique et géologique	2
a.2. Contexte biologique et activités humaines sur la zone	2
b. Méthodologie de cartographie de la zone en plongée sous-marine	2
c. Indice de biodiversité	3
3- Résultats	3
a. Cartographie des bancs de sable	3
b. Indice de biodiversité	4
b.1. Abondance moyenne et Indice de Margalef	4
b.2. Indice de distinction taxonomique	4
4- Discussion / Conclusion / Perspectives.....	5

Bibliographie

Annexes

Liste des figures

Figure 1 : Carte bathymétrique du site des Briquets à Hendaye, Pays-Basque. D'après les données bathymétriques SHOM et IFREMER (Augris et al., 2009).	2
Figure 2 : Schéma du protocole de cartographie des habitats sous-marins en plongée.	3
Figure 3 : Carte sédimentologique du site des Briquets. D'après les données du SHOM et de ce présent travail.	3
Figure 4 : Typologie d'habitats des zones des Briquets selon l'indice de Margalef et l'abondance moyenne.	4
Figure 5 : Indice de biodiversité suivant les variables géographiques et topographiques des Briquets.	4
Figure 6 : Indice de distinction taxonomique en fonction de la richesse spécifique.	4
Figure 7 : Carte des zones considérées en état écologique dégradé.	5

Préambule

Cette étude s'intègre dans le projet de stratégie nationale des aires marines protégées, qui vise à convertir 10% des façades maritimes européennes en zone de protection forte d'ici 2030. Le stage a été réalisé au niveau du site marin des Briquets à Hendaye au Pays-basque afin d'obtenir des données biologiques et écologiques de cette zone. Cela servira pour l'aide à la décision et argumenter pour une modification éventuelle d'un statut de zone Natura 2000 vers un statut de zone de protection forte. Le site des Briquets a été identifié par le comité départemental Pyrénées Atlantique 64 (Codep 64) qui s'est rapproché du Centre de Recherches Insulaires et Observatoire de l'Environnement (CRIOBE), une unité mixte de recherches CNRS-EPHE-UPVD.

Le comité départemental Pyrénées Atlantique 64 (Codep 64) de la fédération française d'étude et de sport sous-marins (FFESSM) est une association qui est chargée de représenter la FFESSM à l'échelle du département. Sa mission est donc de développer la pratique des sports sous-marins dans son département, les Pyrénées-Atlantiques. La politique du CODEP 64 est basée sur 4 axes : communication et développement ; organisation de stage de perfectionnements ; action et soutien au clubs, développement et formation de plongeurs et de compétition. Le Codep 64 dispose de différentes commissions dont celle « Environnement et Bio subaquatiques ». Il est donc également engagé dans divers projets qui mettent en avant la protection des milieux marins des Pyrénées Atlantiques. Parmi ces projets, figure la mise en place d'une zone de protection forte au large d'Hendaye. Ce projet est accompagné scientifiquement par le CRIOBE et a bénéficié d'un financement de la Fondation de France, du département des Pyrénées Atlantiques et de la mairie d'Hendaye.

Le CRIOBE est une unité mixte de recherche ayant pour tutelles le CNRS, l'EPHE et l'université de Perpignan exerçant ses activités sur deux sites géographiques principaux : l'université de Perpignan et la station expérimentale sur l'île Moorea en Polynésie française. Les activités des chercheurs et techniciens du laboratoire vont de la molécule aux écosystèmes, principalement sur les écosystèmes récifaux insulaires, et en lien avec les problématiques de conservation, restauration et gestion durable.

Le projet dans lequel s'inscrit ce stage a débuté il y a 3 ans, dans un cadre de sciences participatives, au cours desquelles les plongeurs bénévoles comptent la diversité et l'abondance des poissons selon un protocole établi par les scientifiques. Les données biologiques compilées serviront pour partie de base à ce rapport. Cette année, l'objectif était de récolter les données environnementales caractérisant le substrat des stations sur lesquelles les comptages poissons ont été réalisés. Les données géologiques récoltées pendant ce stage ont été obtenues en plongée sous-marine. Les sorties en mer sur la zone des Briquets pour la récolte de données ont été très dépendantes de la météorologie locale. Le tableau des opérations terrains est disponible en Annexe.

La zone des briquets devait être entièrement sondée au sondeur multifaisceau mais une mauvaise calibration de l'appareil ne nous a pas permis d'obtenir une bathymétrie exploitable. Malgré les nombreuses sorties en mer afin de calibrer l'appareil, la houle apparaissait toujours sur la bathymétrie traitée. Un des résultats de sondage effectués est présent en annexe 6.

Certaines limitations ont été rencontrées au cours du stage, ralentissant et ne permettant pas de finir la cartographie des zones de sable en plongée sous-marine. Nous n'avons pas bénéficié d'une météo favorable, limitant l'acquisition des données. En effet, pour la sécurité des plongeurs, les sorties en mer ne s'effectuent pas à plus de 1,5m de houle. Le mois de mai au Pays-basque, particulièrement, a connu une très mauvaise météo au large. Dans un deuxième temps, des problèmes de santé (COVID) ont touché mon encadrant de stage ainsi que l'étudiant en master 2, qui était mon binôme de plongée. Tout cela a réduit le nombre de plongées prévu, et donc par conséquence le volume de résultats.

Néanmoins, des plongeurs bénévoles, formés aux sciences participatives nous ont aidé à la cartographie et nous ont permis de cartographier un maximum de bancs de sable. Nous avons ainsi pu obtenir suffisamment de données pour ce stage.

1- Introduction

Dans le milieu marin, les zones côtières sont connues comme des écosystèmes clefs pour la biodiversité. Ces zones de transition terre-mer, possèdent une forte productivité qui fait de ces milieux des niches écologiques d'une grande diversité biologique. De part cette forte productivité, les services écosystémiques rendus par les côtes sont parmi les plus importants de la planète (Tagliarolo et al., 2022). Les écosystèmes côtiers sont des habitats hétérogènes, plus ou moins complexes, comprenant une grande variété de structures tels que des habitats cryptiques ou des structures biogéniques. Ces variations physiques de la typologie des habitats ont des effets positifs sur les communautés benthiques et pélagiques de ces milieux (Bracewell et al., 2018). Cependant, la santé des milieux marins, essentielle à l'activité humaine, est en péril et a atteint un point critique. Les stocks de poissons s'effondrent, le changement climatique et la modification de la chimie des océans perturbent les réseaux trophiques, et donc la capacité du réservoir océanique à réguler le climat (Claudet et al., 2020).

Devant ce constat, en 1992, l'Union européenne s'est engagée à ralentir la perte de la biodiversité en Europe en créant un réseau de sites écologiques nommé Natura 2000. Ces sites visent à assurer la survie à long terme des espèces et des habitats particulièrement menacés et à forts enjeux de conservation en Europe.

La côte basque, de plus de 35 km, a une morphologie particulière avec une côte sableuse au nord et une côte à dominance rocheuse au sud (Augris et al., 2009). Plusieurs sites Natura 2000 sont présents sur ce littoral. Au sud, la corniche, le domaine d'Abbadia et la baie de Txingudi sont classées Natura 2000. Au sein de ces sites protégés on dénombre des habitats d'intérêt communautaire tels que des récifs, des grottes ou des bancs de sable ainsi que des espèces d'intérêt communautaire.

En 2021, la commission européenne a fixé pour objectifs de protéger au moins 30% des surfaces marines de l'UE. Parmi ces 30%, 10% doivent être strictement protégés. En France, ce sont des zones de protections fortes (ZPF), c'est-à-dire où les pressions humaines sont supprimées ou limitées à leur strict minimum. En 2021, le comité de pilotage français (Copil) des sites Natura 2000 en mer de la côte Basque a identifié plusieurs sites susceptibles de passer en zone de protection forte à l'horizon 2030. Dans ce contexte, le Codep 64 siégeant au Copil propose la mise en place d'une ZPF sur le site des Briquets à Hendaye. Ce site est déjà classé Natura 2000 mais les connaissances ichtyologiques de cette zone sont peu développées. Des plongeurs des différents clubs de la région, ont été formés pour participer à un programme de sciences participatives, visant à apporter des informations sur la diversité biologique de la zone. Durant 3 ans, un point zéro en plongée sous-marine sur la biodiversité des Briquets a été fait pour soutenir la décision de placer cette zone en protection forte.

Pour mesurer la biodiversité, les indices classiques de diversité sont souvent utilisés mais ils ne prennent pas en compte les informations qualitatives et/ou fonctionnelles sur les espèces présentes dans un échantillon ; de plus ces indices sont trop dépendants de l'effort d'échantillonnage (Leonard et al., 2006). Les relevés effectués en plongée sous-marine demandent une mesure adéquate de la biodiversité car un grand nombre d'espèces évitent les plongeurs, d'autres sont cryptiques, cela occasionne un biais d'échantillonnage. Des indices ont été développés, se basant sur la relation de parenté entre espèces du même échantillon et peu dépendants de l'effort d'échantillonnage. Parmi ceux-là, la distinction taxonomique ($\Delta+$), correspondant à la « distance » taxonomique moyenne entre toutes les paires d'espèces d'un échantillon. Cet indice, $\Delta+$, est un outil opérationnel pour guider les acteurs dans la gestion et le suivi d'espaces anthropisés (Clarke et Warwick., 1998), il est complémentaire aux indices de biodiversité plus classiques comme la richesse spécifique.

L'objectif de ce travail était d'étudier la répartition ichtyologique suivant les caractéristiques du milieu, et de mieux connaître la structure physique et sédimentologique de la zone des Briquets grâce à la cartographie en plongée sous-marine. La typologie des habitats permet de mettre en relation les caractéristiques du milieu et l'ichtyofaune présente sur le site. L'utilisation de l'indice de distinction taxonomique, en plus d'indices classiques, permettra d'identifier des zones pour lesquelles il pourrait y avoir un intérêt général de conservation et de fournir des éléments de décision aux gestionnaires de la région en vue du choix des zones de protection forte.

2- Matériel et méthodes

a. Zone d'étude

Les Briquets sont situés face au domaine du château d'Abbadia (Fig. 1), et la zone d'étude s'étend de la côte jusqu'à des profondeurs maximum de 35 m. La superficie de la zone est de 6,39 km², autour du brisant des Briquets. Cette zone est caractérisée par des strates alternant avec des éboulis, quelques dépôts de sable et la présence de récifs émergents à marée basse (Augris et al., 2009).

a.1. Contexte physique et géologique

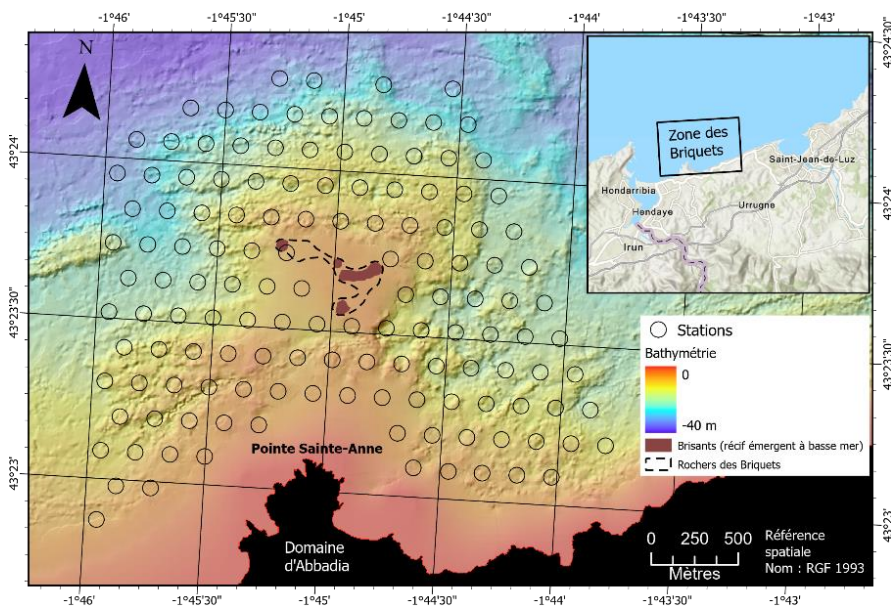


Figure 1 : carte bathymétrique du site des Briquets à Hendaye, Pays-Basque.

Données bathymétriques utilisées pour réaliser cette carte : SHOM et IFREMER (Augris et al., 2009).

Le sud du littoral basque est caractérisé par des falaises plongeant dans l'océan et la présence d'une baie, la baie de Txingudi, dans laquelle se jette la Bidassoa. Les falaises sont soumises à de fortes érosions dues aux agents naturels, responsables de leur fragilisation (Augris et al., 2009). Ces falaises sont constituées du flysch crétacé. Il s'agit d'alternances de calcaires, de calcaires marneux et d'argiles. Sur la côte le flysch a été déformé (plis et failles) par l'orogénèse pyrénéenne à l'Eocène. Le flysch est également présent sur le plateau continental basque, modifiant l'orientation et le

pendage des couches sous-marines. La morphologie du plateau continental basque est donc marquée par des reliefs variés. La marée au niveau d'Hendaye est de type mésotidale, semi-diurne avec un marnage maximum de 3,8 m. La houle, dépendante de la situation particulière du golfe de Gascogne, arrive sur le littoral sans obstacle principalement depuis le nord-ouest, et peut donc être très forte. Les fonds marins de la côte basque sont composés principalement de sable ou de roche (Augris et al., 2009).

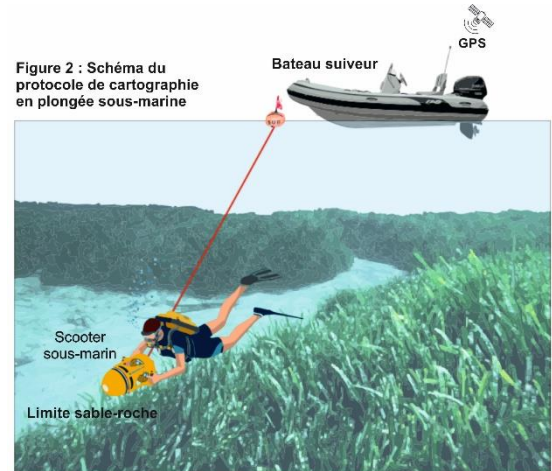
a.2. Contexte biologique et activités humaines sur la zone

Dans le golfe de Gascogne, la diversité et la richesse des biotopes sont propices à de fortes diversités d'espèces halieutiques et des habitats favorables à l'ichtyoplancton. Le rapport du document d'objectifs des sites Natura 2000, estime en 2015, que 29 navires de pêche professionnels prélevaient 83% de leurs tonnages dans les aires marines protégées de la côte basque (Duvauchelle et Le Moignon., 2015). D'autres activités humaines comme la chasse sous-marine, la plongée, la voile, le surf, sont très pratiquées sur le littoral.

b. Méthodologie de cartographie de la zone en plongée sous-marine

Les données de biodiversité récoltées les années précédentes suivaient un protocole divisant la zone des briquets en 137 stations de 200 m de diamètre (Fig. 1). Cette campagne a été réalisée dans le cadre de sciences participatives. Les plongeurs suivaient un transect et notaient à l'aller les espèces rencontrées et au retour le type de substrat. Les données sur les substrats ont été utilisées cette année pour estimer les zones à cartographier. Le sable, moins présent sur la zone, a été cartographié afin de déduire, par élimination, les zones de roches. Les faibles profondeurs et l'hydrodynamisme important des Briquets ont demandé la mise en place d'un protocole adapté.

La méthode de cartographie du sable en plongée sous-marine (Fig.2) consistait à longer la limite sable roche. Les plongeurs étaient en possession d'un scooter sous-marin pour faciliter la cartographie, et ils tractaient une bouée. En surface, le bateau du Codep 64 suivait la bouée tout en prenant une trace GPS. Les traces GPS obtenues ont ensuite été traitées sur le SIG ArcGIS pro pour obtenir les contours des bancs de sables présents dans la zone.



c. Indice de biodiversité

Le résumé de la campagne d'inventaire de l'ichtyofaune des années précédentes est présenté en Annexe 2. Les efforts d'échantillonnage inégalement répartis sur les 137 stations ont demandé l'utilisation d'indices indépendants de la disparité de ces efforts (Annexe 3). Les abondances et les richesses spécifiques de chaque zone ont été standardisées afin de pouvoir comparer les données quantitatives entre chaque station.

L'indice de **Margalef** D_{mg} corrige par l'effort d'échantillonnage la richesse spécifique des stations :

$$D_{mg} = (S - 1) / \ln N$$

Où S est le nombre d'espèces et N est le nombre d'individus par station.

Cette richesse spécifique standardisée sera utilisée en complément de l'abondance moyenne des individus des stations, pour comparer la biodiversité suivant la typologie de l'habitat établie à partir de l'analyse SIG de la bathymétrie et de la composition du substrat. Dans un habitat, différentes typologies de substrat peuvent être présentes. Trois types de typologie sont utilisées : Sable, Blocs et Tombants rocheux (Michel et al., 2019). Ces indices seront également utilisés pour comparer la biodiversité en fonction de : la profondeur, la pente du fond, la distance à la côte et la distance au récifs des briquets de chaque station.

L'indice de **Distinction taxonomique** Δ^+ , dépendant des données issues du cladogramme à 6 niveaux de classification (Annexe 4), de la richesse spécifique des Briquets et de la présence/absence d'espèces par zone, est calculé selon la formule suivante :

$$\Delta^+ = \left[\sum \sum_{i < j} \omega_{ij} \right] / [S(S - 1) / 2]$$

Où ω_{ij} est la « distance » taxonomique entre chaque paire d'espèces i et j présentes à la station, et S est la richesse spécifique à la station.

Cet indice s'interprète en fonction de la richesse spécifique et d'un intervalle de confiance à 95%. Chaque zone qui sort de cet intervalle est considérée en mauvais état écologique (Clarke et Warwick., 1998).

3- Résultats

a. Cartographie des bancs de sable

Au total, 5 bancs de sables ont été cartographiés en plongée (Fig. 3). Après analyse, 0,167 km² de surface sableuse ont été cartographiés.

La cartographie des bancs de sables n'a pas pu être finalisée en raison de conditions météorologiques défavorables.

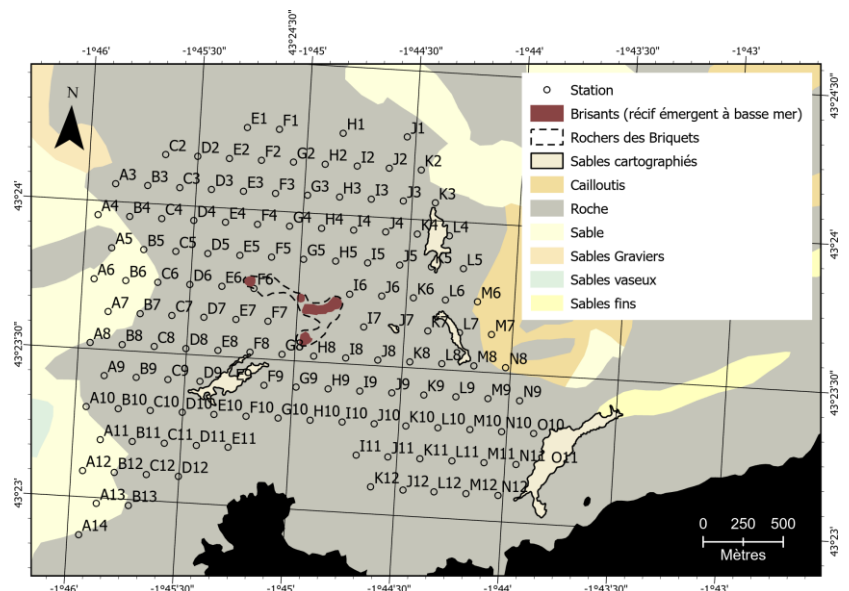


Figure 3 : Carte sédimentologique du site des Briquets. D'après les données du SHOM et de ce présent travail.

b. Indice de biodiversité

b.1. Abondance moyenne et Indice de Margalef

Après l'analyse statistique sur Rstudio, les variations significatives sont présentées ci-dessous. L'annexe 5 présente les valeurs des tests statistiques.

La typologie de l'habitat, en fonction de la richesse spécifique standardisée (Indice de Margalef) et l'abondance moyenne, est présentée en figure 4. D'après l'indice de Margalef et de l'abondance moyenne, le sable correspond à la typologie la plus pauvre en espèces. Les typologies blocs et tombants, pour les deux indices, montrent une abondance et une richesse spécifique significativement plus importantes. La présence de tombants augmente significativement la valeur des deux indices. Les deux graphiques montrent une augmentation des espèces et de l'abondance en corrélation avec l'augmentation des typologies. En d'autres termes, plus un habitat est diversifié, principalement les rocheux, plus la richesse spécifique et l'abondance sont importantes.

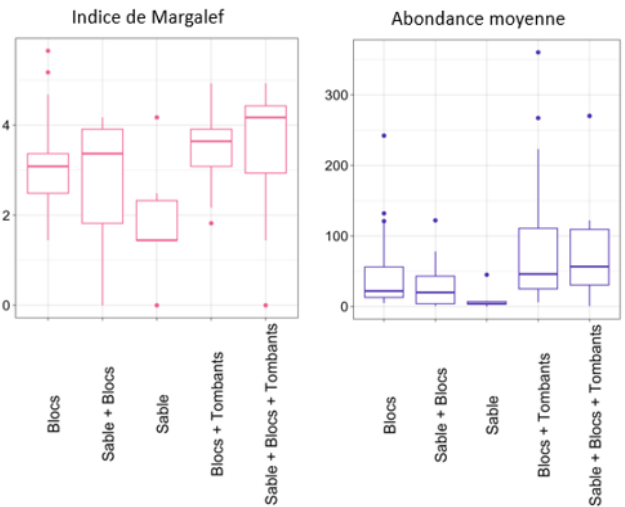


Figure 4 : Typologie d'habitats des zones des Briquets selon l'indice de Margalef et l'abondance moyenne.

La figure 5 montre une faible corrélation positive des deux indices à la distance à la côte (Fig. 5c et d, $r^2 < 0,33$). La richesse spécifique et l'abondance sont légèrement plus riches au large. Une corrélation négative est observée, pour les deux indices, plus la distance au récif des Briquets augmente (Fig. 5a et b, $r^2 < -0,39$). L'abondance moyenne augmente parallèlement au pourcentage de la pente (Fig. 5e, $r^2 = 0,29$). La profondeur ne semble significative pour aucun des deux indices, et le % de la pente du fond n'impacte également pas ou très peu la richesse spécifique. Ces résultats ne sont donc pas présentés ici. Les coefficients de corrélation étant faibles, ces interprétations sont à prendre avec précaution.

b.2. Indice de distinction taxonomique

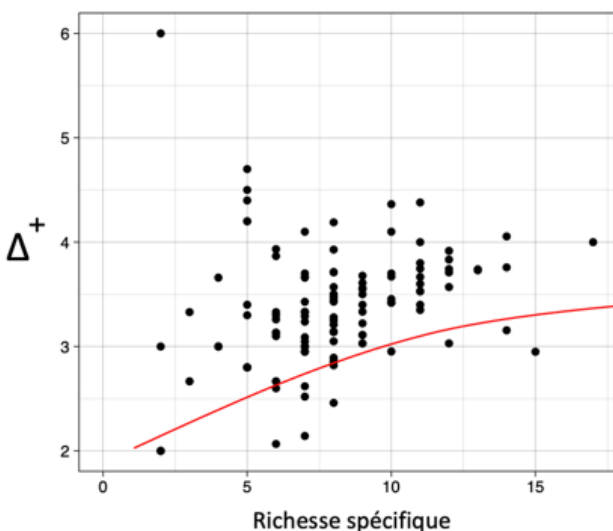


Figure 6 : Indice de distinction taxonomique en fonction de la richesse spécifique.

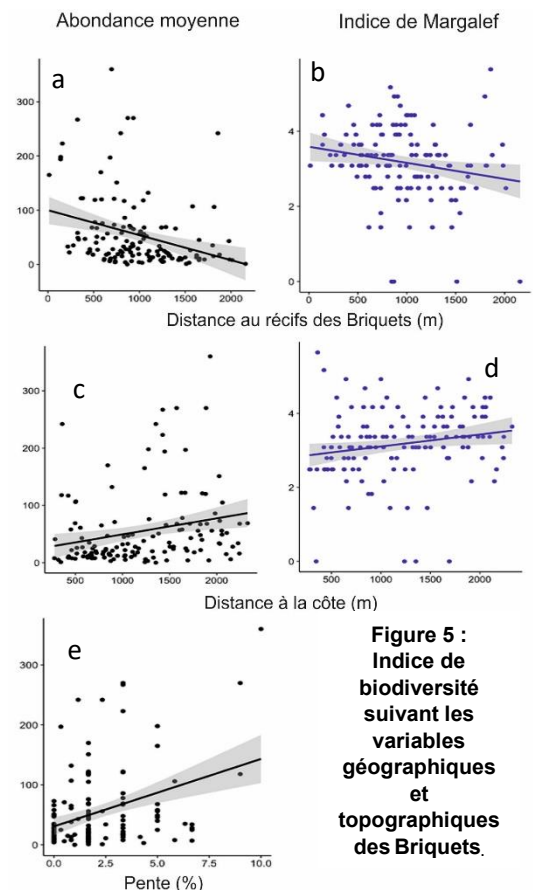


Figure 5 : Indice de biodiversité suivant les variables géographiques et topographiques des Briquets.

L'interprétation de l'indice taxonomique, se faisant suivant la richesse spécifique, a permis d'établir un graphique des 137 stations (fig. 6). La limite basse de l'intervalle de confiance (limité par la ligne rouge) montre les stations impactées. Au total 13 stations sortent de cet intervalle (fig. 7).

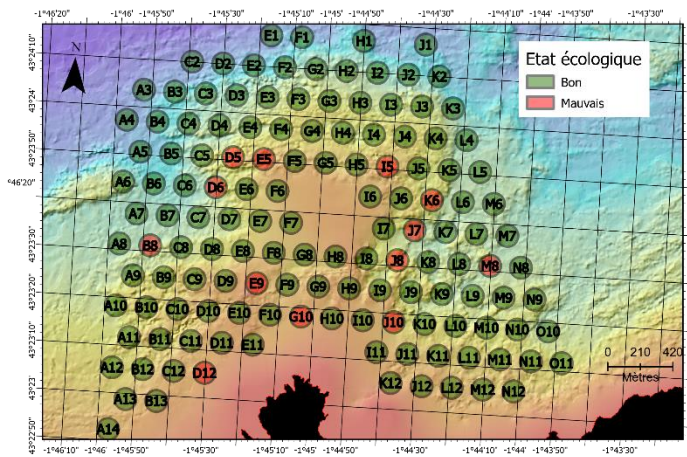


Figure 7 : Carte des zones considérées en état écologique dégradé.

Leur $\Delta+$ est trop bas pour la région par rapport à ce qui est attendu au vu de leur richesse spécifique respective. Sur la carte de la figure 7, pointé en vert les stations en bon état écologique et en rouge les stations en état écologique dégradé.

4- Discussion / Conclusion / Perspectives

Le plateau continental basque, où affleure le flysch crétaé, est marqué par d'importantes variations de pendage, d'orientation et de reliefs (Augris et al., 2009). Les fonds marins du sud du Pays-basque sont donc composés de structures hétérogènes. Quand la complexité des habitats, ici équivalente à la

structure physique de l'environnement, augmente, un effet positif sur la diversité est reporté (Smith et al., 2014., Hunter et Sayer., 2009). Les résultats de cette étude montrent une richesse spécifique et une abondance plus importante dans les zones comprenant des habitats complexes. Le récif des Briquets est un milieu composé de tombants et de blocs. Les zones proches de ces brisants concentrent une ichthyofaune significativement plus importante que dans les autres stations. Ces structures servent également de refuge, augmentant la survie de l'ichtyoplancton (Hereu et al., 2005). Les pentes de ces différentes structures, à fort hydrodynamisme, sont propices à l'installation d'espèces ingénieurs, comme les gorgones, augmentant la complexité de l'habitat et favorisant une forte biodiversité (Hunter, 2009). Cependant, les habitats moins hétérogènes, comme le sable, ne sont pas négligeables car indispensables pour certaines espèces inféodées à ces milieux tels que les raies. La relation établie entre communauté ichthyologique et variables physiques des habitats demande donc de considérer l'hétérogénéité, la complexité mais également la santé écologique des habitats (Roos et al., 2017). Les stations des Briquets dit en « mauvais état écologique », probablement résultat d'un impact anthropique, sont systématiquement des zones moyennes et peu profondes (<18 m) et généralement très proches du récif des Briquets. Même s'il nous est difficile d'identifier la raison de la dégradation de ces stations, lorsqu'un écosystème est perturbé, cela engendre différentes phases de succession écologique aboutissant généralement à une déstructuration profonde (Odum., 1969). La protection de ces zones et la restauration de leur état écologique peut limiter leur dégradation.

L'effet réserve se définit comme les incidences qu'engendre la mise sous protection réglementaire d'une zone maritime. Ces incidences sont d'impact écologique, économique et social. De nombreuses études montrent qu'à l'intérieur d'une aire marine protégée, les effets sur les populations et les communautés ne sont que bénéfiques, pour autant que les mesures de protection soient suffisamment fortes et respectées. Il est généralement observé une augmentation de la biodiversité et de la biomasse pouvant avoir des conséquences sur le succès reproducteur des individus (Galzin et al., 2009). Au niveau des habitats, cela protège les zones essentielles et permet la recolonisation des zones désertées par les animaux. L'émigration des adultes et juvéniles augmente significativement le recrutement des zones extérieures à la réserve (Wickel et al., 2008). L'effet réserve pourrait permettre un rétablissement et un maintien des peuplements marins et des fonctions de l'écosystème des Briquets.

L'indice de distinction taxonomique nous a permis d'avoir une approche complémentaire de diagnostic. Il est clair que nous n'identifions pas les causes de la dégradation de certaines zones. Des études complémentaires faisant un diagnostic plus approfondi, mais aussi comparant des zones environnantes seraient nécessaires. Actuellement, une autre approche consisterait à récupérer l'ADN résiduel dans l'eau pour identifier les espèces présentes, méthode qui s'affranchit des biais liés aux plongeurs. C'est une évaluation précise, rapide et complète de la biodiversité (Nguyen et al, 2020). Enfin, il serait également nécessaire d'établir une cartographie des types de pressions anthropiques sur la zone et de les quantifier, pour une meilleure compréhension des impacts.

Bibliographie

- Augris, C., Caill-Milly, N., & de Casamajor, M. N. (2009). Atlas thématique de l'environnement marin du Pays Basque et du sud des Landes. Quae.
- Bracewell, S. A., Clark, G. F., & Johnston, E. L. (2018). Habitat complexity effects on diversity and abundance differ with latitude: an experimental study over 20 degrees. *Ecology*, 99(9), 1964-1974.
- Clarke, K. R., & Warwick, R. M. (1998). A taxonomic distinctness index and its statistical properties. *Journal of applied ecology*, 35(4), 523-531.
- Claudet, J., Bopp, L., Cheung, W. W., Devillers, R., Escobar-Briones, E., Haugan, P., ... & Gaill, F. (2020). A roadmap for using the UN decade of ocean science for sustainable development in support of science, policy, and action. *One Earth*, 2(1), 34-42.
- Duvauchelle, C, et Le Moigno G., 2015. « Document d'Objectif Natura 2000 », 294.
- Galzin, R., Kulbicki, M., Petit, J., & Wickel, J. (2009). Réflexions de biologiste sur les « effets réserve » en partant du cas d'étude de la Polynésie française.
- Hall, S. J., & Greenstreet, S. P. (1998). Taxonomic distinctness and diversity measures: responses in marine fish communities. *Marine Ecology Progress Series*, 166, 227-229.
- Hereu, B., Zabala, M., Linares, C., & Sala, E. (2005). The effects of predator abundance and habitat structural complexity on survival of juvenile sea urchins. *Marine Biology*, 146, 293-299.
- Hunter, W. R., & Sayer, M. D. J. (2009). The comparative effects of habitat complexity on faunal assemblages of northern temperate artificial and natural reefs. *ICES Journal of Marine Science*, 66(4), 691-698.
- Leonard, D. R. P., Clarke, K. R., Somerfield, P. J., & Warwick, R. M. (2006). The application of an indicator based on taxonomic distinctness for UK marine biodiversity assessments. *Journal of Environmental Management*, 78(1), 52-62.
- Michez, N., Thiébaud, É., Dubois, S., Le Gall, L., Dauvin, J. C., Andersen, A., ... & Viard, F. (2019). Typologie des habitats marins benthiques de la Manche, de la Mer du Nord et de l'Atlantique VERSION 3 (Doctoral dissertation, UMS PatriNat, Muséum national d'Histoire naturelle, Paris).
- Nguyen, B. N., Shen E. W., Seemann J., Correa A. M. S., O'Donnell J. L., Altieri A. H., Knowlton N., Crandall K. A., Egan S. P., Mcmillan W. O., Leray M. 2020. Environmental DNA Survey Captures Patterns of Fish and Invertebrate Diversity across a Tropical Seascape. *Scientific Reports*, vol. 10, no. 1. 14 p.
- Odum, E. P. (1969). The Strategy of Ecosystem Development: An understanding of ecological succession provides a basis for resolving man's conflict with nature. *science*, 164(3877), 262-270.

- Roos, D., Dupont, P., Gaboriau, M., Bigot, L., Durville, P., Mulochau, T., ... & Claverie, T. (2017). Projet EPICURE: Étude des Peuplements Ichtyologiques et des CommUnautés RécifalEs à partir d'indicateurs spatiaux et de l'approche fonctionnelle, des bancs du Geysier, de la Zélée et de l'Iris. Programme du Xème FED régional « Gestion durable du patrimoine naturel de Mayotte et des îles Eparses.
- Smith, R. S., Johnston, E. L., & Clark, G. F. (2014). The role of habitat complexity in community development is mediated by resource availability. *PloS one*, 9(7), e102920.
- Tagliarolo, M., & Rousseau, Y. (2022). Caractérisation de la biodiversité des habitats côtiers et estuariens. (BioCotEs: Biodiversité Côtière et Estuarienne).
- Warwick, R. M., & Clarke, K. R. (1998). Taxonomic distinctness and environmental assessment. *Journal of Applied ecology*, 35(4), 532-543.
- Wickel J., Jamon A., 2008. Bilan des peuplements de poissons d'intérêt commercial en périphérie des sites du projet de Réserve Naturelle du Lagon. Rapport « LAGONIA » pour Dir. Agriculture & Forêt Mayotte. 44 p.

Annexes

Annexe 1 : Totale des sorties en mer effectuées au cours du stage.

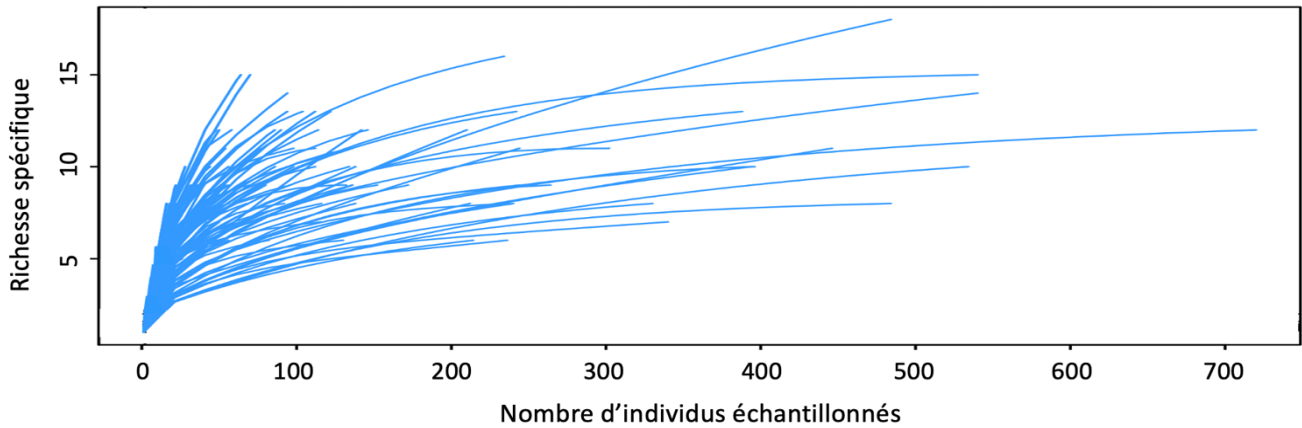
Date	Poste	Lieux	Objectifs
03/04/2023	Plongeur	Côte espagnole	Plongée de réadaptation
04/04/2023	Plongeur	Les briquets	Adaptation au scooter
05/04/2023	Plongeur	Les briquets	Adaptation au scooter + profondeur
Mauvaise météo			
11/04/2023	Pilote du bateau	Les briquets	Début de la cartographie
12/04/2023	Plongeur	Baie de Txingudi	Pré plongée dans la cadre d'une journée de recensement des syngnathidés
15/04/2023 au 22/04/2023	Plongeur	Différents sites à Hendaye	Formation certificat d'aptitude à l'hyperbarie classe 1B
25/04/2023	Plongeur	Les briquets	Cartographie en scooter sous-marin
26/04/2023	Plongeur	Les briquets	Cartographie en scooter sous-marin
27/04/2023	Pilote du bateau	Les briquets	Cartographie en scooter sous-marin
02/05/2023	Plongeur	Les briquets	Cartographie en scooter sous-marin
03/05/2023	Plongeur	Les briquets	Cartographie en scooter sous-marin
04/05/2023	Pilote du bateau	Les briquets	Cartographie en scooter sous-marin
05/05/2023	Pilote du bateau	Les briquets	Cartographie en scooter sous-marin
Mauvaise météo			
18/05/2023	Pilote du bateau	Les briquets	Cartographie au sondeur multifaisceau
19/05/2023	Pilote du bateau	Les briquets	Cartographie au sondeur multifaisceau
Mauvaise météo			
30/05/2023	Plongeur	Les briquets	Cartographie en scooter sous-marin
01/06/2023	Pilote du bateau	Les briquets	Cartographie au sondeur multifaisceau
02/06/2023	Plongeur	Les briquets	Cartographie en scooter sous-marin
05/06/2023	Plongeur	Les briquets	Cartographie en scooter sous-marin
06/06/2023	Plongeur	Les briquets	Cartographie en scooter sous-marin

Annexe 2 : Résultat de la campagne de recensement de l'ichtyofaune sur la zone des Briquets.

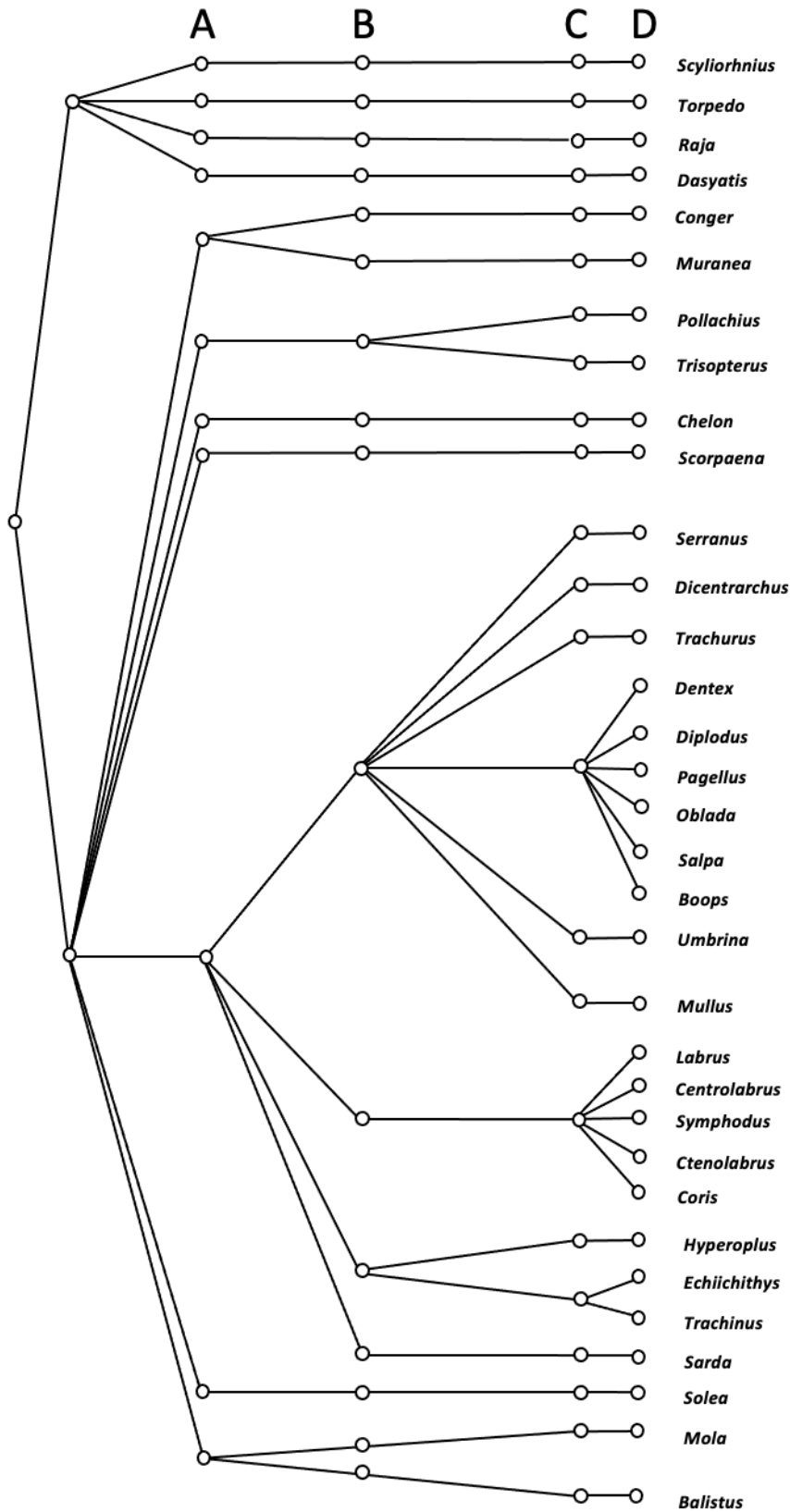
Nom commun	Nom scientifique	Abondance relative	Présence à .. % des stations	Catégorie
Girelle commune	<i>Coris julis</i>	91%	13%	Bentho-pélagique
Cténolabre	<i>Cténolabrus rupestris</i>	83%	5%	Bentho-pélagique
Crénilabre commun	<i>Symphodus melops</i>	81%	4%	Bentho-pélagique
Serran commun	<i>Seranus cabrilla</i>	79%	3%	Bentho-pélagique
Grande vielle	<i>Labrus bergylta</i>	77%	2%	Bentho-pélagique
Centrolabre	<i>Centrolabrus exoletus</i>	69%	3%	Bentho-pélagique
Coquette	<i>Labrus mixtus</i>	53%	1%	Bentho-pélagique
Rouget barbet	<i>Mullus surmuletus</i>	25%	1%	Benthique
Tacaud commun	<i>Trisopterus luscus</i>	25%	1%	Bentho-pélagique
Oblade	<i>Oblada melanura</i>	24%	15%	Bentho-pélagique
Sar à tête noire	<i>Diplodus vulgaris</i>	22%	1%	Bentho-pélagique
Bogue	<i>Boops boops</i>	21%	36%	Bentho-pélagique
Rascasse brune	<i>Scorpaena porcus</i>	20%	0,2%	Benthique
Sar commun	<i>Diplodus sargus</i>	20%	2%	Bentho-pélagique
Sar tambour	<i>Diplodus cervinus</i>	10%	0,5%	Bentho-pélagique
Petite vive	<i>Echiichthys vipera</i>	7%	0,2%	Benthique
Torpille marbrée	<i>Torpedo marmorata</i>	7%	0,1%	Benthique
Pageot commun	<i>Pagellus erythrinus</i>	6%	0,2%	Bentho-pélagique
Chinchard à queue jaune	<i>Trachurus mediterraneus</i>	5%	3%	Pélagique
Lançon commun	<i>Hyperoplus lanceolatus</i>	4%	8%	Bentho-pélagique
Ombrine bronze	<i>Umbrina canariensis</i>	4%	0,4%	Bentho-pélagique
Raie brunette	<i>Raja undulata</i>	4%	0,03%	Benthique
Pastenague violette	<i>Pteroplatytrygon violacea</i>	3%	0,02%	Bentho-pélagique
Labre merle	<i>Labrus merula</i>	2%	0%	Bentho-pélagique
Mulet lippu	<i>Chelon labrosus</i>	2%	0,1%	Bentho-pélagique
Baliste commun	<i>Balistes capricus</i>	1%	0,01%	Bentho-pélagique
Denti	<i>Dentex dentex</i>	1%	0,04%	Bentho-pélagique
Grande vive	<i>Trachinus draco</i>	1%	0,01%	Benthique
Bar commun	<i>Dicentrarchus labrax</i>	1%	0,01%	Bentho-pélagique
Bonite à dos rayé	<i>Sarda sarda</i>	1%	0,4%	Pélagique
Congre commun	<i>Conger conger</i>	1%	0,01%	Benthique
Grande roussette	<i>Scyliorhinus stellaris</i>	1%	0,01%	Bentho-pélagique
Lieu jaune	<i>Pollachius pollachius</i>	1%	0,01%	Bentho-pélagique
Murène commune	<i>Muraena helena</i>	1%	0,01%	Benthique
Petite roussette	<i>Scyliorhinus canicula</i>	1%	0,01%	Bentho-pélagique
Poisson lune	<i>Mola mola</i>	1%	0,01%	Pélagique
Saupe	<i>Sarpa salpa</i>	1%	1%	Bentho-pélagique
Sole commune	<i>Solea solea</i>	1%	0,01%	Benthique

Annexe 3 : Courbes de raréfaction, calculé à partir de la richesse spécifique et le nombre d'individus échantillonnés des 137 stations, simulant pour chacune d'entre elles, la richesse spécifique attendue pour un effort d'échantillonnage décroissant en termes de nombre d'individus échantillonnés.

Chaque courbe représente une station et l'extrémité de chaque courbe est le point représentant la richesse spécifique réellement observée à la station en fonction du nombre d'individu réellement observée à la station. Ces analyses justifient l'utilisation de l'abondance moyenne et de la richesse spécifique standardisée.



Annexe 4 : Cladogramme simplifié à 6 niveaux de classification illustrant les relations de parenté entre les espèces inventoriées sur le site des Briquets, utilisé pour calculer l'indice de distinction taxonomique de chaque station.



Annexe 5 : Résultats des tests statistiques des indices de biodiversité.

<i>KW Test & Post Hoc de Dunn</i>	Sable	Blocs	Sable + Blocs	Blocs + Tombants	Sable + Blocs + Tombants
Sable		$p = 0,012^*$		$p = 0,0004^*$	$p = 0,003^*$
Blocs	$p = 0,049^*$			$p = 0,016^*$	
Sable + Blocs					
Blocs + Tombants	$p = 0,002^*$	$p = 0,007^*$			
Sable + Blocs + Tombants	$p = 0,006^*$				

Corrélation de spearman

Indice de Margalef

Abondance moyenne

Pente

$* p = 0,0003 ; rho = 0,29$

Profondeur

Distance à la côte

$* p = 3,9e-4 ; rho = 0,28$

$* p = 4,5e-5 ; rho = 0,33$

Distance au récif

$* p = 0,003 ; rho = -0,24$

$* p = 7,7e-7 ; rho = -0,39$

Annexe 6 : Levé de bathymétrie effectué au sondeur multifaisceau le 01/06/2023. Parmi les nombreux levés effectués au cours de ce stage, il s'agit du premier levé dont la qualité est correcte. On y discerne les bancs du flysch qui constituent le sommet de la zone des Briquets.

